

# 身体重心動揺と運動能力の 指標を関連づける試み

—— バランス能力の新しい評価方法の開発に向けて ——

An attempt to relate postural sway and motor performance measures

—— Seeking a new method for evaluating balance control ability ——

藤 永 博  
Fujinaga, Hiroshi

## ABSTRACT

Decreased or underdeveloped balance control ability is associated with inactivity, immobility, and falling of young children and elderly people. These are great concerns for health promoters and welfare workers. There is a growing need for valid measures of balance control ability and effective training methods, but balance control has attracted considerably less attention than other components of physical fitness, such as muscle strength and flexibility. This research note first reviewed several characteristics of the center of foot pressure as indices of postural sway and then presented ideas that may lead to new measures or methods for evaluating balance control ability of healthy young children and elderly people. It was suggested that relating postural sway and motor performance measures by factor analysis methods might provide useful measures for the evaluation of balance control ability.

## 1. はじめに

人口の4分の1が高齢者となる時代を迎えようとしている。高齢者が健康を保ち、自己実現のための活動や日常の活動に必要な身体機能（体力）を維持し、

生きがいのある自立した生活を送り続けることは、個人にとっても社会にとっても重要である。そのため、高齢者の体力を評価するための適切な方法の構築と生活機能増進策の具体化が急務となっている。<sup>(1)</sup>とりわけ、バランス能力<sup>(2)</sup>の維持・増進に有効なトレーニング方法の確立と、トレーニングの効果やバランス能力<sup>(3)</sup>の加齢変化を把握するための評価方法の開発は、「寝たきり」の原因となりうる転倒の防止策を具体化するうえで重要である。

一般的な体力の構成図（図1）では、バランス能力（平衡性）は「行動を調整する能力」のひとつとして位置づけられ、神経機能<sup>(4)</sup>と関連づけられている。身体バランスの維持には、

①反射性姿勢調節

②転倒につながる刺激に対する随意調節

③転倒につながる刺激の予測に基づく予測的姿勢調節

が関与しているという指摘がある。<sup>(5)</sup>この見方によると、バランス能力が高いということには、次の意味がある。

①反射機能がよい（効率のよい姿勢反射経路が形成されている）。

②反応時間が短い（姿勢の乱れを素早く認知し、できるだけ早く正しい姿勢を選択して実行する）。

③転倒につながる外乱刺激の発現を予想して構えをとることができる。

上の3つの調節は運動を遂行するうえで必要不可欠なものである。つまり、バランス能力はあらゆる身体活動の基盤となる能力と言える。

バランス能力は、寝返り、立位姿勢の保持、歩行ができるようになる過程で徐々に培われる。幼児期（～5歳）、学童期（6歳～12歳）には身体発育を背景に、遊びや様々な運動経験をとおして急速に発達する。逆にバランス能力の低下は、

---

(1) 生活をするうえで必要となる身体機能

(2) 岡田守彦・松田光生・久野譜也（2003）

(3) 特定の姿勢の保持や運動の遂行のために身体のバランスを維持する能力

(4) 神経系の筋力調節機能

(5) 大築立志（2003）

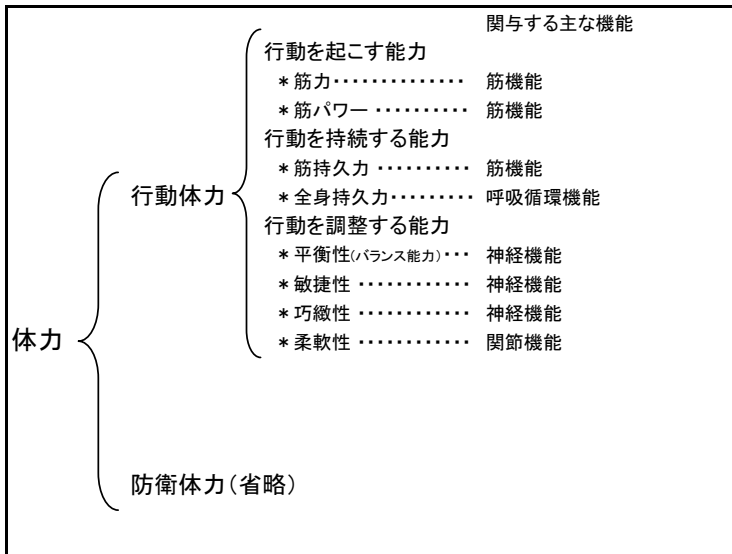


図 1. 行動体力の構成 (池上春夫 (1991) p.13 表 1 をもとに作図)

運動の質的・量的低減や加齢などによる体力の減退が相互に作用して進行する  
と考えられる。運動中にバランス能力の低下を実感し、転倒やその他の事故の  
リスクを強く感じると、運動に対して不安感や恐怖感をもつようになる。中高  
齢者のスポーツ参加という視点から見ると、自己効力感などに影響を及ぼす体  
力構成因子の低下より、運動に対する不安感・恐怖感の原因となるバランス能  
力の低下の方が悪影響は大きいと考えられる。同様に、幼児期や学童期におけ  
る遊びや身体活動の不足によるバランス能力の未発達は、その後の運動・スポー  
ツ嫌いの原因になりかねない。

バランス能力の重要性は広く認識されているにもかかわらず、その評価方法  
やトレーニング方法については、体育の領域でも競技スポーツの領域でも、筋力  
や持久力といった他の体力構成因子ほど大きく取り上げられてこなかった。そ  
の理由を朝岡は「トレーニングの原則」と「評価方法とトレーニング方法の関

(6) 朝岡正雄 (2003)

係」の観点から次のように説明している。

- ①「一般的体力因子としてのバランス能力」を向上させても、個別の運動で必要となる「専門的体力因子としてのバランス能力」の向上には必ずしもつながらないし、逆効果をもたらす場合もある。
- ②「専門的体力因子としてのバランス能力」を向上させるためには、個別の運動を繰り返し行う以外方法はないという認識がある。
- ③「一般的体力因子としてのバランス能力」を評価する運動テストを施しても、個別の種目に必要となる「専門的体力因子としてのバランス能力」の評価には必ずしもならない。

したがって、これまで指摘してきた転倒や運動・スポーツ嫌い問題に対応するという目的で高齢者や幼・小児のバランス能力を評価するのであれば、まずは「一般的体力因子としてのバランス能力」、つまり「あらゆる身体活動の基盤となるバランス能力（基礎バランス能力）」という構成概念を規定する適切な観測変数や下位因子を探索し、それらを測定・評価する方法を確立しなければならない。その際、身体バランスの維持に関与する反射性姿勢調節などの姿勢制御メカニズムを考慮に入れる必要がある。個別の運動で必要となる「専門的体力因子としてのバランス能力」を基礎バランス能力の観測変数や下位因子などを用いてどのように構成していくかが次の課題となる。すでに臨床では平衡機能検査が平衡障害の診断のために広く実施されている。臨床の平衡機能検査には、姿勢制御に関与すると考えられるいくつかのフィードバック系あるいはフィードフォワード系の機能・構造を反映する検査項目が含まれている。臨床の平衡機能検査方法は、基礎バランス能力という構成概念をどのように規定し、測定するかを考えるうえで参考となる。

平衡障害を検査する最も基本的な方法としては、重心動揺検査が広く利用されている。重心動揺検査は、健康な高齢者の直立能力<sup>(7)</sup>を評価するうえでも有効と考えられており、複数の検査項目を総合的に捉え、姿勢制御に関与する個々の

(7) 直立姿勢を維持する能力

系の構造や機能と関連づけて解釈する方法が定着しつつあるが、妥当性、信頼性の検証は現在も続けられている。本稿では、重心動揺検査の主要項目とそれぞれの項目がもつ検査上の意義を総括したうえで、高齢者を対象とした先行研究の主要結果を整理し、さらに幼児の重心動揺検査と運動能力テストの結果をもとに、基礎バランス能力の評価方法について考察する。直立機能テストとしての重心動揺検査と運動能力テストの項目を関連づけることができれば、適当な運動能力テストの組み合わせが基礎バランス能力の評価に役立つ可能性があることを示したい。

## 2. 重心動揺検査

平衡機能検査は眼球運動系の検査と体幹・四肢の検査（体平衡機能検査）に大別される。体平衡機能検査としては、直立検査、足踏み検査、歩行検査などが行われる<sup>(8)</sup>。重心動揺検査は直立検査のひとつで、直立姿勢における身体重心の動揺<sup>(9)</sup>を記録・分析することによって、姿勢制御に関与する系のうち、視覚系、前庭・半規管系、脊髓固有反射系、および、これらを制御する中枢神経系の機能を捉えるものである<sup>(10)</sup>。検査方法については日本平衡神経科学会の基準<sup>(11)</sup>や国際基準<sup>(12)</sup>があり、測定装置としては日本工業規格が定められている<sup>(13)</sup>。重心動揺検査は、めまい・平衡障害の診断を目的として<sup>(14)</sup>、あるいは高齢者の直立機能の評価を目的として行われる。

(8) 時田 喬 (2002)

(9) 立位姿勢では、身体は足関節を視点として逆振り子のような運動をしており、頭部や身体重心は常に動揺している。立位姿勢における身体の重心動揺は、床反力計を利用して測定されることが多い。その際、床反力計上の反力の中心が重心線（重心を通る垂直線）と一致すると仮定し、実際には両足圧中心位置を重心として扱う。健常成人男性では、重心動揺速度は約2cm/sec、累積移動距離は30cm/10sec以下である（中村隆一・齋藤 宏・長崎 浩 (2005)）。

(10) バランス能力を検査するためには、運動系、筋骨格系、およびそれらに関与する中枢神経系などの関与を考慮にいれる必要がある。重心動揺検査だけではこれらの系の機能を直接評価することはできない。

(11) 日本平衡神経科学会 (1983)

(12) Kapteyn, T. S. (1983)

(13) 日本工業標準調査会 (1987)

保険診療では、重心動揺検査は次の3段階に分けられる。

- ①面積軌跡長検査
- ②パワー・ベクトル検査
- ③姿勢反射誘発を加えた重心動揺検査

面積軌跡長検査では、次の項目について検査される<sup>(15)</sup>。

①動揺パターン

重心動揺のX-Y記録図から、動揺の広がり、方向などを参考にして動揺のパターン（求心型、左右型、前後型、びまん型、多中心型など）を判定する。各種疾患では特徴的な動揺パターンが観察される。

②外周面積（A）

重心動揺のX-Y記録図における動揺の外周を包む線（包絡線）で囲まれる部分の面積。小児、高齢者では値が大きい。基準面積値を超えるびまん型動揺は中枢神経障害の疑いがある。

③単位時間軌跡長（LNG/T）

重心の変位の総和である総軌跡長（LNG）を測定時間T（秒）で割った値。測定時間中の平均動揺速度。迷路障害、小脳障害では動揺速度の増加を示す例がある。

④単位面積軌跡長（LNG/A）

総軌跡長（LNG）を外周面積（A）で割った値。視覚性姿勢制御の影響が少ない。姿勢制御の微細さを観察することにより、脊髄固有反射性姿勢制御を検査する。

⑤X軸重心動揺中心（MX）<sup>(16)</sup>

足底中心の左右動揺の平均距離。迷路神経障害などで生じる四肢・体幹の筋緊張の左右差による偏倚現象を検査する。

✓ (14) 迷路・前庭神経障害、小脳障害、パーキンソン病などの診断に有効とされている（時田 喬（2002））。

(15) 時田 喬（2002）

(16) 左右方向重心動揺中心

## ⑥Y 軸重心動揺中心 (MY)<sup>(17)</sup>

足底中心の前後動揺の平均距離。抗重力筋緊張の亢進あるいは低下による姿勢異常がもたらす重心の前後変位を検査する。両側迷路障害では後方変位が、パーキンソン病では前方変位が観察される。

## ⑦ロンベルグ率

閉眼直立時と開眼直立時の外周面積の比をロンベルグ率とする。視覚性姿勢制御の役割を評価する。

パワー・ベクトル検査は、パワースペクトル検査、位置・速度ベクトル検査、振幅確率密度分布検査に分けられる。パワースペクトル検査では、重心動揺を構成する振動の周波数とパワーを検査する。検査する周波数帯域は 0.02Hz から 10Hz である。国際基準<sup>(18)</sup>では、0.02Hz から 0.2Hz, 0.2Hz から 2Hz, 2Hz から 10Hz の 3 つの周波数帯域におけるパワーの全パワーに対する比率を検査することを提唱している。特定の帯域のパワーの増加が見られた場合、病態の把握に役立つ。

高齢者では、若年者に比べて開閉眼時とも 2Hz までの低周波帯域のパワーが増大し、5Hz から 10Hz までの高周波帯域のパワーが減少<sup>(19)</sup>する。また、加齢にともない、視覚系の姿勢制御機能を示すと考えられる開眼時の 0.1Hz から 0.5Hz のパワーは徐々に減少、前庭系の姿勢制御機能を示すと考えられる閉眼時の 0.1Hz から 0.5Hz のパワーはあまり変化せず、脊髄固有反射系の姿勢制御機能を示すと考えられる閉眼時の 0.5Hz から 1.5Hz のパワーは高齢になってから低下すると報告<sup>(20)</sup>されている。

位置・速度ベクトル検査では、位置ベクトルと速度ベクトルを検査する。位置ベクトルは重心動揺中心を起点とする、50msec ごとにサンプリングした重心位置のベクトルを求め、8 方向区画に分けて区域ごとの総和を求めたものである。

(17) 前後方向重心動揺中心

(18) Kapteyn, T. S. (1983)

(19) 八木一記・藤野明人・徳増厚二・伊保清子・米田 敏 (1987)

(20) 藤原勝夫・池上春夫 (1984)

位置ベクトルによって重心動揺の広がりを客観的に把握することができる。速度ベクトルは、1つのサンプリング点から次のサンプリング点へのベクトルを求め、全サンプリングについて、8方向区画に分けて区域ごとの総和を求めたものである。速度ベクトルによって重心動揺の方向を把握することができる。

振幅確率密度分布検査では、X軸動揺とY軸動揺<sup>(21)</sup>の特徴を振幅比ヒストグラム、振幅度数分布の標準偏差、歪度、尖度で数量的に評価する。姿勢反射誘発を加えた重心動揺検査では、傾斜刺激、水平移動刺激、振動刺激などを加えたときの重心動揺が記録される。

### 3. 高齢者の重心動揺

時田（2002）は、全国17の施設で収集した3歳から94歳の被験者2201名のデータを分析して、高齢者の重心動揺の特徴を次のように報告した。

- ①動揺面積と軌跡長は加齢とともに増大する。これは直立能力の低下を意味する。
- ②位置ベクトルと振幅度数分布の標準偏差はX軸（左右）方向で増大する。  
その原因のひとつとして迷路性立ち直り反射の機能低下が考えられる。
- ③ロンベルグ率の増加は認められない。安定した静的直立姿勢の保持においては、一般的に加齢によって視覚系への依存度は増加しない。
- ④速度ベクトルでは、前後方向のベクトルが大きくなる。
- ⑤パワースペクトルは、前後方向で高い周波数帯域のパワーが増大する。  
前後方向の速い動揺の増加は、脊髄固有反射系機能の亢進によるものと考えられる。
- ⑥高齢者では外周面積や単位面積軌跡長などの測定値の標準偏差が大きい。  
直立姿勢制御における個人差が大きくなるという特徴が認められる。

重心動揺の主成分分析からは次の結果が得られている。<sup>(22)</sup>

(21) X軸動揺は左右方向、Y軸動揺は前後方向の重心動揺を意味する。

(22) 時田（2002）



- ①高齢者の重心動揺からは動揺の大きさ成分（第1主成分，寄与率49%），微細さ成分（第2主成分，寄与率16%），左右の偏り成分（第3主成分，寄与率8%）が抽出される。
- ②これら3つの次元から分析することによって，高齢者の重心動揺を平衡障害の診断に資するパターンに分類することができる。
- ③これら3つの成分の指標となる主な測定項目は，第1成分ではA，第2成分ではLNG/A，第3成分ではXDである。

高齢者の重心動揺は，次のように分類することができる。

- ①動揺が増大する型（A型）：直立機能の全体的低下を示すと考えられる。
- ②動揺が微細となる型（B型）：脊髄固有反射機能の異常との関連が考えられる。
- ③左右の動揺が増す型（C型）：迷路性立ち直り反射機能の低下との関連が考えられる。
- ④これらの混合型（AB型，AC型，BC型）

#### 4. 幼児期に見られる重心動揺と運動能力の変化

ここでは，某保育園で実施されている重心動揺検査および運動能力テストの結果をもとに，幼児の重心動揺の特徴について考察する。今回利用するデータは，平成元年から平成14年にかけて実施された3歳から5歳の園児を対象とする重心動揺検査および運動能力テストの結果である。重心動揺検査では，アニメ（KK）製の重心動揺計ポータブルグラフィコーダーGS-10を用いて，開眼で立位姿勢を30秒間保持した時の総軌跡長（LNG），外周面積（A），単位面積軌跡長（LNG/A），X軸動揺中心（MX），Y軸動揺中心（MY），X軸動揺総変位（DX），Y軸動揺総変位（DY）が測定され，運動能力テストでは，25m走，ボール投げ，反復横跳び，開眼片足立ち（時間），立ち幅跳び，片足連続跳び（距離）<sup>(23)</sup>，

(23) グラウンドに描かれた一辺5mの正方形の上を片足ケンケン跳びで30秒間に左回りで前進した距離。

腕立支持（時間）が測定されている。図2は重心動揺検査の測定結果の一例である。年度別にデータを分析した結果、統計的に有意な増加・減少傾向は認められなかったため、平成元年から平成14年までの全データを年齢ごとにまとめたうえで分析した。

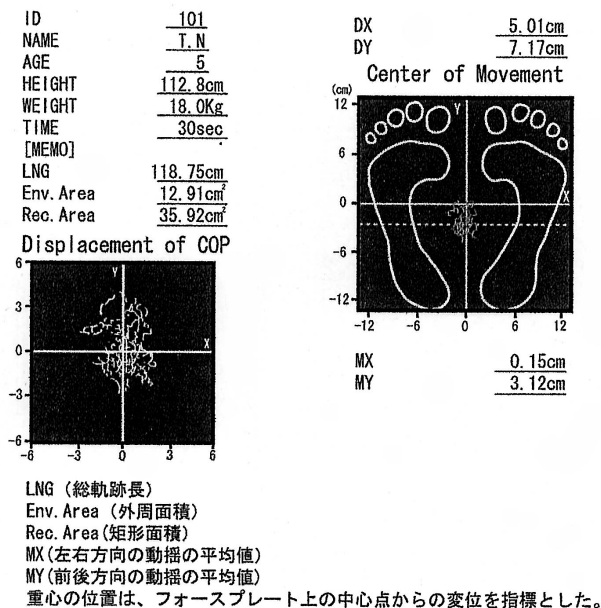


図2. 重心動揺測定結果の一例

3歳時、4歳時、5歳時の重心動揺検査データがそろっている121名の被検者について、面積軌跡長検査変数の平均値の変化をしてみる（表1）。すべての変数について統計的に有意な年齢効果が認められる。重心動揺（LNGおよびA）が小さくなる一方で、LNG/Aは長くなっている。また、重心動揺中心の左方向へのずれ<sup>(24)</sup>と後方へのずれも改善される傾向にある。これらは、高齢者に見られる変化とは対照的で、幼児期3年間の直立機能の発達を示唆する。

多重比較については、このデータでの分析結果を示すかわりに、全データを用

表 1. 重心動揺面積軌跡長の年齢変化（3 歳～5 歳）

反復測定による一元配置分散分析 (N=121)

	3 歳	4 歳	5 歳	F 値	有意確率
LNG(cm)	71.6(27.9)	68.7(23.6)	67.7(21.6)	1677.3	<0.01
A(cm <sup>2</sup> )	6.6(5.5)	5.1(3.4)	4.6(2.6)	440.1	<0.01
LNG/A(cm/cm <sup>2</sup> )	15.6(8.3)	16.4(6.4)	17.7(7.5)	1114.9	<0.01
MX(cm)	0.45(1.45)	0.46(1.03)	0.16(1.00)	36	<0.01
MY(cm)	-3.32(1.66)	-2.62(1.39)	-2.56(1.70)	764.5	<0.01

平均値(標準偏差)

MXの正の値は左方向の傾きを、MYの負の値は後方の傾きを意味する。

いた多重比較 (Tukey HSD) の結果をまとめる (表 2)。MX は個人差が大きく、各年齢の平均値に有意な差は認められなかった。DX の平均値を 4 歳児と 5 歳児で比較してみると、LNG や A の平均値は 5 歳児の方が小さいにもかかわらず、DX は 5 歳児の方が大きくなっている。5 歳児グループの DX 値の分布 (平均値 4.70, 標準偏差 4.69 (表 2), 最大値 44.9, 歪度 3.88) を見てみると、全体的には人数は少ないものの極端に大きな DX 値をもつ子どもがいることが分かる。5 歳児の DX の平均値が 4 歳児より大きくなったのはその影響と考えられる。この左右方向の大きな重心動揺が、身体活動が活発になり始める子どもに特徴的な姿勢制御要因によるものか、検査環境での精神的要因によるものか現段階では判断できない。

(26)

- ✓ (24) 幼児では直立時に重心動揺中心が両足の間位置より X 軸上左にずれる (MX が負の値になる) 傾向にある。これは軸足としての利き足 (左足であることが多い) の影響と考えられている。
- (25) 幼児では体幹や四肢の筋が未発達であるため、直立時の重心動揺中心は両足の間位置より後方にあることが多い。身体発育・運動発達にともない重心動揺中心は前方に移動すると考えられる。
- (26) 3 歳児および 4 歳児グループの DX 値の分布の特徴は次のとおりである。3 歳時：平均値 4.44, 標準偏差 2.06, 最小値 0.96, 最大値 20.40, 歪度 2.71。4 歳児：平均値 4.13, 標準偏差 2.16, 最小値 1.45, 最大値 20.52, 歪度 3.11。DX は左傾斜分布をしており、平均値よりかなり大きな値をとる子どもが全体的に見ると数は少ないが存在する。この左傾斜分布の傾向は 5 歳児グループではさらに顕著になる。

表 2. 多重比較 (Tukey HSD)

		3歳	4歳	5歳	F 値	有意確率	TukeyHSD		有意確率
LNG	平均	75.4	70.1	62.2	35.0	0.000	3歳	4歳	0.005
	標準偏差	34.0	36.1	22.8				5歳	0.000
	N	502	1035	1038				4歳	5歳
A	平均	6.8	6.3	4.4	37.0	0.000	3歳	4歳	0.338
	標準偏差	6.1	8.2	3.1				5歳	0.000
	N	502	1035	1038				4歳	5歳
LNG/A	平均	14.8	15.1	17.6	44.7	0.000	3歳	4歳	0.615
	標準偏差	14.8	15.1	17.6				5歳	0.000
	N	502	1035	1038				4歳	5歳
MX	平均	0.25	0.20	0.16	0.9	0.396	3歳	4歳	0.760
	標準偏差	1.31	1.29	1.12				5歳	0.375
	N	502	1035	1038				4歳	5歳
MY	平均	-3.10	-2.80	-2.17	56.3	0.000	3歳	4歳	0.005
	標準偏差	1.64	1.86	1.76				5歳	0.000
	N	502	1035	1038				4歳	5歳
DX	平均	4.44	4.13	4.70	6.5	0.002	3歳	4歳	0.252
	標準偏差	2.06	2.16	4.69				5歳	0.412
	N	430	920	935				4歳	5歳
DY	平均	4.16	3.89	3.70	10.3	0.000	3歳	4歳	0.022
	標準偏差	2.04	1.73	1.67				5歳	0.000
	N	430	920	935				4歳	5歳

## 5. 幼児に見られる面積軌跡長変数間の相関関係

次に5歳児における面積軌跡長変数間の相関関係を調べてみる。表3はピアソンの積率相関係数をまとめたものである。LNGとAの間には強い相関、AとLNG/Aの間には比較的強い負の相関、LNGとLNG/Aの間には弱い負の相関が認められる。これらの結果は、高齢者の場合と同様に、LNG/AがLNGやAとは異なる情報を提供する可能性を示唆している。DXとDYの間とDYとLNGおよびAの間にはやや強い相互があるものの、DXとLNGおよびAの間にはほとんど相関がない。5歳児のDXの解釈を含め、これらの変数間の関係については詳細な分析が必要である。

表 3. 面積軌跡長変数間の相関関係 (5 歳児)

	LNG	A	DX	DY	MX	MY	LNG/A
LNG	1.00	0.82**	0.19**	0.52**	-0.06*	0.04	-0.37**
A	0.82**	1.00	0.14**	0.54**	-0.03	0.06*	-0.65**
DX	0.19**	0.14**	1.00	0.72**	0.05	-0.09**	-0.02
DY	0.52**	0.54**	0.72**	1.00	-0.02	-0.03	-0.31**
MX	-0.06*	-0.03	0.05	-0.02	1.00	-0.06	0.00
MY	0.04	0.06*	-0.09**	-0.03	-0.06	1.00	-0.05
LNG/A	-0.37**	-0.65**	-0.02	-0.31**	0.00	-0.05	1.00

\*\* 相関係数は 1% 水準で有意 (両側)

\* 相関係数は 5% 水準で有意 (両側)

## 6. 面積軌跡長変数の主成分分析

LNG, A, LNG/A, DX, DY, MX, MY について主成分分析を行った結果, これらの変数から 3 つの成分が抽出された (表 4)。第 1 成分は重心動揺を大きくする因子, 第 2 成分は左右方向の重心動揺を生みだす因子, 第 3 成分は重心動揺中心の左右方向の偏りを生みだす因子と解釈できる。時田 (2002) による高齢者に関する先行研究とは, 測定項目に違いがあるため主成分分析の結果を比較す

表 4. 面積軌跡長変数の主成分分析 (5 歳児)

説明された分散の合計

成分	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和		
	合計	分散の %	累積 %	合計	分散の %	累積 %
1	2.80	39.95	39.95	2.80	39.95	39.95
2	1.35	19.28	59.23	1.35	19.28	59.23
3	1.01	14.40	73.63	1.01	14.40	73.63
4	0.96	13.68	87.31			
5	0.61	8.67	95.98			
6	0.18	2.51	98.49			
7	0.11	1.51	100.00			

因子負荷

	成分 1	成分 2	成分 3
LNG	0.83	-0.21	-0.06
A	0.89	-0.34	0.07
DX	0.49	0.80	-0.09
DY	0.82	0.46	-0.09
MX	-0.03	0.16	0.95
MY	0.02	-0.38	-0.18
LA	-0.64	0.43	-0.22

因子抽出法: 主成分分析

ることはできない。今後、パワー・ベクトル検査の結果や時系列の不規則さを表す指標を分析に含めることによって、LNG/A との関連が示唆されている重心動揺を微細にする因子を抽出することができると考えられる。また、今回は因子間に相関がないと仮定して分析を行ったが、さらに因子分析の手法を用いて、姿勢制御に関与する系の構造や機能との関連を視野に入れながら、適切な解釈が可能な因子の抽出を試みる必要がある。その試みの手始めとして、本稿では今回の主成分分析の結果抽出された因子と運動能力テストの関係に焦点をあてる。

## 7. 面積軌跡長項目と運動能力テスト項目の関係

重心動揺検査は被検者の直立機能を検査する簡便な方法である。この検査と運動能力テストの結果をもとに、あらゆる身体活動の基盤となる基本的バランス能力を評価することが可能かどうかを見極めることが、現在行っている研究の最終目的である。冒頭で指摘したように、低年齢者や高齢者のスポーツ離れを助長する「スポーツに対する恐怖感」の醸成を未然に防ぐためには、何がバランス能力の未発達や低下をもたらすかを明らかにする必要がある。直立能力があらゆる身体活動の基盤となる基本的バランス能力の根底にあるという仮説の検証を視野に入れながら、重心動揺検査と運動能力テストの項目の関係を明らかにしていくことは有益であろう。そこで、主成分分析に用いた重心動揺検査項目（LNG, A, LNG/ A, DX, DY, MX, MY）に運動能力テストの項目をひとつずつ加えて、再度主成分分析を行った。

運動能力テストの項目をひとつずつ重心動揺検査項目に加えて主成分分析を行うと、抽出された各因子について、分析に用いられた項目の因子負荷量が計算される。因子負荷量は因子と観測変数（検査・測定項目）との相関係数と考えられる。因子の解釈は因子負荷量が大きな観測変数があわせもつ意味を考慮して行われる。また、同じ因子と関係の強い観測変数は何らかの共通の情報をもつと考えられる。重心動揺検査と運動能力テストの項目の関係は因子の構造や

因子負荷量からある程度把握することができる。

表5から表7は、片足立ち、片足跳び、25m走を分析に加えた時の結果である。片足立ちは直立姿勢の制御に關与する因子、すなわち、重心動揺を大きくする因子、左右方向の重心動揺を生みだす因子、重心動揺中心の左右方向の偏りを生みだす因子からほぼ同じ程度影響を受けている（表5）。一方、片足跳びはMXとMYの両方が同程度影響を受ける因子の影響を強く受けている（表6）。軸足としての利き足の発達や体幹や四肢の筋力発達が関係していると推察される（脚注24, 25参照）。片足跳びの關与が大きい第3因子（表6）は、重心動揺中心の左右方向の偏りを生みだす因子とは別の因子と解釈するべきであろう。25m走の結果が最も強く影響を受ける因子は、MX, MYに加えてLNG/Aとの関係が強い因子である（表7）。このように、重心動揺検査と運動能力テストの項目を適当に組み合わせると、新たな解釈（意味づけ）を必要とする因子（潜在変数）が顕在化してくる。適切に意味づけされた因子は、バランス能力の評価に役立つ

表5. 面積軌跡長変数と片足立ちの主成分分析（5歳児）

説明された分散の合計						
成分	初期の固有地			抽出後の負荷平方和		
	合計	分散の%	累積%	合計	分散の%	累積%
1	2.83	35.41	35.41	2.83	35.41	35.41
2	1.37	17.18	52.59	1.37	17.18	52.59
3	1.02	12.75	65.34	1.02	12.75	65.34
4	0.96	11.99	77.33			
5	0.93	11.57	88.90			
6	0.61	7.59	96.48			
7	0.18	2.19	98.68			
8	0.11	1.32	100.00			

因子負荷

	成分1	成分2	成分3
LNG	0.83	-0.18	-0.10
A	0.89	-0.30	0.00
DX	0.48	0.80	-0.02
DY	0.81	0.47	-0.06
MX	-0.03	0.13	0.92
MY	0.02	-0.37	-0.16
LA	-0.64	0.40	-0.14
片足立	-0.24	0.28	-0.35

因子抽出法: 主成分分析

表 6. 面積軌跡長変数と片足跳びの主成分分析 (5 歳児)

説明された分散の合計

成分	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和		
	合計	分散の %	累積 %	合計	分散の %	累積 %
1	2.81	35.10	35.10	2.81	35.10	35.10
2	1.37	17.15	52.25	1.37	17.15	52.25
3	1.14	14.31	66.56	1.14	14.31	66.56
4	0.97	12.14	78.69			
5	0.82	10.21	88.91			
6	0.61	7.59	96.49			
7	0.18	2.19	98.68			
8	0.11	1.32	100.00			

因子負荷量

	成分1	成分2	成分3
LNG	0.83	-0.19	0.11
A	0.89	-0.32	0.05
DX	0.48	0.80	-0.03
DY	0.81	0.47	0.01
MX	-0.02	0.05	-0.63
MY	0.01	-0.29	0.51
LA	-0.64	0.44	0.08
片足跳	-0.14	0.30	0.68

因子抽出法: 主成分分析

表 7. 面積軌跡長変数と 25m走の主成分分析 (5 歳児)

説明された分散の合計

成分	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和		
	合計	分散の %	累積 %	合計	分散の %	累積 %
1	2.80	34.96	34.96	2.80	34.96	34.96
2	1.36	16.98	51.94	1.36	16.98	51.94
3	1.06	13.23	65.17	1.06	13.23	65.17
4	0.98	12.31	77.48			
5	0.91	11.42	88.90			
6	0.61	7.58	96.48			
7	0.18	2.19	98.68			
8	0.11	1.32	100.00			

因子負荷量

	成分1	成分2	成分3
LNG	0.83	-0.21	0.01
A	0.89	-0.33	0.10
DX	0.49	0.78	-0.22
DY	0.82	0.44	-0.16
MX	-0.03	0.17	0.52
MY	0.02	-0.40	-0.40
LA	-0.64	0.42	-0.23
25M走	0.02	0.18	0.70

因子抽出法: 主成分分析



つ指標となりうる。今後、それぞれの重心動揺検査項目がもつ意味と運動能力テストの各種目の運動学的特徴を十分理解したうえで、確認的因子分析を行う必要がある。

## 8. おわりに

静止時あるいは運動中の身体バランスは、多入力・多出力の非線形システムによって制御されている。したがって、このシステムを要素還元的な手法で完全に理解できるとは思えない。しかし、直立姿勢を保つためのメカニズムが運動中の身体バランスの維持にも関与しているのは明らかである。本研究では、バランス能力を適切に測定・評価するために、基礎バランス能力という構成概念の組み立てを試みている。バランス能力を規定する下位因子と、それらを定義する測定可能なテスト項目（観測変数）を探し出すのが最初の課題である。この報告では、基礎バランス能力には少なくとも3つの下位因子が関与すること、さらに、それぞれの因子が直立能力テストのひとつである重心動揺検査と運動能力テストの項目の組み合わせによって抽出できる可能性があることを指摘しておきたい。バランス能力の新しい評価方法を確立するためには、基礎バランス能力を定義する因子モデルを構築し、そのモデルの合理性や妥当性を検証する必要がある。基礎バランス能力の「構造」が明らかになれば、「専門的体力因子としてのバランス能力」を基礎バランス能力の視点から分析することが可能になると考えている。

## 参考文献

- 朝岡正雄（2003）バランスのトレーニング 体育の科学 53(4): 253-257, 杏林書院。  
大築立志（2003）バランスを司る神経支配 体育の科学 53(4): 236-240, 杏林書院。  
岡田守彦・松田光生・久野譜也（2003）『高齢者の生活機能増進法 地域システムと具体的ガイドライン』有限会社ナップ。  
時田 喬（2002）『重心動揺検査 その実際と解釈』アニマ株式会社。  
徳増厚二（1994）小児と高齢者の平衡検査報告書 Equilibrium Research 53: 315-319.  
中村隆一・齋藤 宏・長崎 浩（2005）『基礎運動学 第6版』p.349 脚注, 医歯薬出版

株式会社.

日本平衡神経科学会 (1983) 重心動揺検査の基準 Equilibrium Research 42: 367-369.

日本工業標準調査会 (1987) 重心動揺計. JIS T: 1190, 日本工業規格.

藤原勝夫・池上春夫 (1984) 立位姿勢における身体動揺の周波数成分の加齢変化 姿勢研究 4(2): 81-88.

八木一記・藤野明人・徳増厚二・伊保清子・米田 敏 (1987) ヒト直立時重心動揺図の年齢変化 Equilibrium Research 46: 343-349.

Kapteyn, T.S. (1983) Standardization in platform stabilometry being a part of posturography. Agressologie 24: 321-326.